

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-243384

(43)Date of publication of application : 28.08.2002

(51)Int.Cl.

F28F 1/40

F25B 1/00

(21)Application number : 2001-042992

(71)Applicant : KOBE STEEL LTD

(22)Date of filing : 20.02.2001

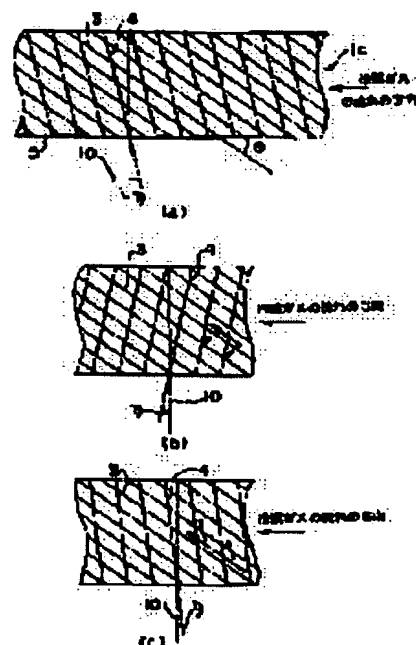
(72)Inventor : KOSEKI KIYONORI  
SAEKI CHIKARA  
HIGO TOMIO

## (54) HEAT TRANSFER TUBE WITH INNER SURFACE GROOVE

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a light-weight seamless heat transfer tube with an inner surface groove by improving a condensing heat transfer rate and an evaporating heat transfer rate, by limiting an inner surface shape in the heat transfer tube with the inner surface groove suitable for a difluoromethane or a mixed refrigerant containing the difluoromethane.

**SOLUTION:** A lead angle  $\theta$  of the groove 3 formed on the inner surface of the tube is set to  $25^\circ$  or more. In a developing view of the inner surface of the tube, an outer surface of the tube is pressed by a rolled ball or a rolled roll. Thus, a locus 4 of an indentation mark formed on the inner surface of the tube is inclined at an angle of 0 to 10 in the same direction as the groove 3 with respect to the perpendicular direction of a tube axis, and a groove pitch is set to 0.25 mm or less. Preferably, a height of the fin is 0.10 mm or more, and a groove pitch is set to 0.40 mm or less.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

09.01.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the  
examiner's decision of rejection or application  
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3494625

[Date of registration]

21.11.2003

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-243384

(P2002-243384A)

(43) 公開日 平成14年8月28日 (2002. 8. 28)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	データベース (参考)
F 2 8 F 1/40		F 2 8 F 1/40	D
F 2 5 B 1/00	3 9 5	F 2 5 B 1/00	3 9 5 Z

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2001-42992(P2001-42992)

(22) 出願日 平成13年2月20日 (2001. 2. 20)

(71) 出願人 000001199

株式会社神戸製鋼所

兵庫県神戸市中央区臨浜町二丁目10番26号

(72) 発明者 小関 清彦

神奈川県秦野市平沢65番地 株式会社神戸製鋼所秦野工場内

(72) 発明者 佐伯 主税

神奈川県秦野市平沢65番地 株式会社神戸製鋼所秦野工場内

(72) 発明者 肥後 富夫

神奈川県秦野市平沢65番地 株式会社神戸製鋼所秦野工場内

(74) 代理人 100090158

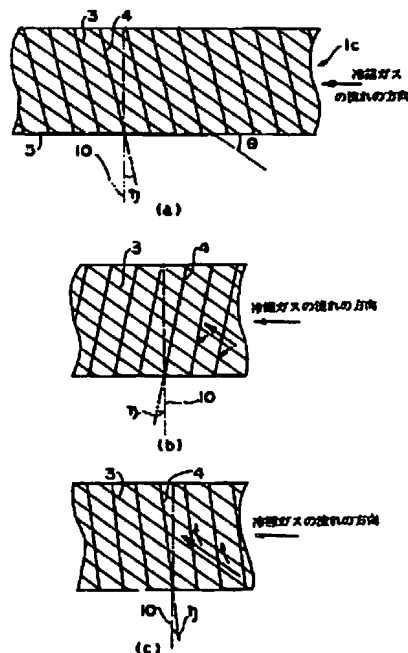
弁理士 藤巻 正憲

(54) 【発明の名称】 内面溝付伝熱管

(57) 【要約】

【課題】 ジフルオロメタン及びジフルオロメタンを含む混合冷媒に好適な内面溝付伝熱管において、内面形状を限定することにより凝縮熱伝達率及び蒸発熱伝達率を向上させ、且つ軽量のシームレス内面溝付伝熱管を提供する。

【解決手段】 管の内面に形成される溝3のリード角 $\theta$ を $25^\circ$ 以上とし、管内面の展開図において、転造ボール又は転造ロールにより管外面が押圧されることにより管内面に形成される圧痕の軌跡4を、管軸直交方向に対して溝3と同じ方向に $0^\circ$ を超え $10^\circ$ 以下の角度で傾斜させ、溝ピッチを $0.25\text{mm}$ 以上とする。また、好ましくは、フィンの高さを $0.10\text{mm}$ 以上、溝ピッチを $0.40\text{mm}$ 以下とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ジフルオロメタン又はジフルオロメタンを含む混合物を冷媒に使用する熱交換器に使用され、管内面に溝が形成された内面溝付伝熱管において、管内面の溝のリード角が $25^{\circ}$ 以上、溝ピッチが $0.25\text{mm}$ 以上であると共に、管内面の展開図において、転造ボール又は転造ロールにより管外面を押圧した結果管内面に現れた圧痕の軌跡が管軸直交方向に対し前記溝と同じ方向に $0^{\circ}$ を超え $10^{\circ}$ 以下の角度で傾斜していることを特徴とする内面溝付伝熱管。

【請求項2】 管内面に形成されているフィンの高さが $0.10\text{mm}$ 以上であることを特徴とする請求項1に記載の内面溝付伝熱管。

【請求項3】 前記溝ピッチが $0.40\text{mm}$ 以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載の内面溝付伝熱管。

【請求項4】 前記フィンの根元が円弧状の形状を有し、その円弧の半径を $R$ とし、前記フィンの高さを $H_f$ とすると、 $R/H_f$ の値が $0.15$ 乃至 $0.45$ であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の内面溝付伝熱管。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はジフルオロメタン又はジフルオロメタンを含む混合物を冷媒として使用する冷凍機器及び空調機器等の熱交換器に使用される内面溝付伝熱管に関し、特に、凝縮熱伝達率及び蒸発熱伝達率の双方が優れたシームレス内面溝付伝熱管に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、ルームエアコンをはじめとする空調機器及び冷凍機器には、クロロジフルオロメタン( $R22$ )等、その分子構造内に塩素を含む冷媒( $HCF$ )が広く使用されてきた。しかしながら、これらの冷媒( $HCF$ )はオゾン層を破壊する物質であることから、近時、塩素を含まない冷媒( $HFC$ )への転換が進んでいる。また、地球温暖化抑制のために、冷凍機器及び空調機器には消費電力の低減が求められている。これは、冷凍機器及び空調機器の消費電力を低減することにより、火力発電所から排出される炭酸ガス量を削減することができるからである。

【0003】 $R22$ の代替として、 $HFC$ である $1,1,1,2$ -テトラフルオロエタン( $R134a$ )が一部の大型空調機等に採用されたが、 $R134a$ は $R22$ よりも液熱伝導率が低いため機器性能が大幅に低下し、熱交換器容積及び消費電力の増大を招くため、ルームエアコン及びパッケージエアコンには殆ど採用されていない。

【0004】ルームエアコン及びパッケージエアコンにはジフルオロメタン( $R32$ )を含む混合冷媒が採用され始めている。 $R32$ は $R22$ に比べて、潜熱、蒸気熱

伝導率及び液熱伝導率が高いという利点がある。また、 $R32$ が可燃性であることと作動圧力が $R22$ の $1.6$ 倍であることから、 $R32$ に $R125$ 又は $R134a$ を混合した冷媒、即ち、 $R410A$ 及び $R407C$ 等の非共沸混合冷媒も使用されている。但し、 $R32$ の可燃性は比較的強く不燃性に近いため、 $R32$ 単体を冷媒として使用することも考えられる。

【0005】一方、空調機器の空冷式熱交換器の伝熱管には内面溝付管が広く使用されており、その内面の溝形状は以下のように最適化が図られている。

【0006】特開平8-105699号公報には、蒸発及び凝縮熱伝達率を向上させることを目的として、内面の溝形状を規定する技術が開示されている。具体的には、フィン山頂角を $10$ 乃至 $20^{\circ}$ 、溝深さを $0.15$ 乃至 $0.23\text{mm}$ 、溝底幅を $0.1$ 乃至 $0.3\text{mm}$ 及び管軸に対する溝のリード角(振れ角)を $10$ 乃至 $30^{\circ}$ とすることにより、伝熱管の蒸発熱伝達率及び凝縮熱伝達率を改良できると記載されている。

【0007】また、特開平8-145585号公報には、非共沸混合冷媒用に考案された溝形状が開示されている。この技術は、凝縮熱伝達率を向上させることを目的として、リード角(振れ角)を $45^{\circ}$ 以上と極端に大きくしている。

【0008】更に、特許第2997189号公報にも非共沸混合冷媒用に考案された溝形状が開示されている。この技術は、凝縮熱伝達率を向上させることを目的として、内面溝のリード角を $25^{\circ}$ 以上とし、溝深さを $0.15$ 乃至 $0.35\text{mm}$ に規定している。

## 【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の技術には以下のような問題点がある。特開平8-105699号公報に開示されている内面溝付管は、クロロジフルオロメタン( $R22$ )及び $1,1,1,2$ -テトラフルオロエタン( $R134a$ )等の従来の冷媒に適したものであり、ジフルオロメタン( $R32$ )並びに $R410A$ 及び $R407C$ 等のジフルオロメタンを含む混合冷媒には適さないという問題点がある。

【0010】また、特開平8-145585号公報に開示されている内面溝付管は、リード角を極端に大きくしているため、凝縮熱伝達率は向上するものの蒸発熱伝達率は大幅に低下する。また、 $45^{\circ}$ 以上のリード角をシームレス銅管に設けることは極めて困難である。

【0011】更に、特許第2997189号公報に開示されている内面溝付管も、特開平8-145585号公報に開示されている内面溝付管と同様に、リード角を限定することにより凝縮熱伝達率は向上するが、一方で蒸発熱伝達率が低下するという問題点がある。

【0012】本発明はかかる問題点に鑑みてなされたものであって、ジフルオロメタン及びジフルオロメタンを含む混合冷媒に好適な内面溝付伝熱管であって、内面形

状を限定することにより凝縮熱伝達率のみならず蒸発熱伝達率も向上させ、且つ軽量なシームレス内面溝付伝熱管を提供することを目的とする。

#### 【0013】

【課題を解決するための手段】本発明に係る内面溝付伝熱管は、ジフルオロメタン又はジフルオロメタンを含む混合物を冷媒に使用する熱交換器に使用され、管内面に溝が形成された内面溝付伝熱管において、管内面の溝のリード角が $25^{\circ}$ 以上、溝ピッチが $0.25\text{mm}$ 以上であると共に、管内面の展開図において、転造ボール又は転造ロールにより管外面を押圧した結果管内面に現れた圧痕の軌跡が管軸直交方向に対し前記溝と同じ方向に $0^{\circ}$ を超え $10^{\circ}$ 以下の角度で傾斜していることを特徴とする。

【0014】本発明においては、リード角を $25^{\circ}$ 以上とすることにより、凝縮時に冷媒液が溝に沿って上昇することを抑制し、凝縮時に管頂部付近を乾いた状態に維持することができる。これにより、内面溝付伝熱管の内面において、冷媒液で濡れていない乾いた面で冷媒ガスを凝縮させ、また、凝縮した冷媒液を速やかに排出させることができるため、凝縮熱伝達率を向上させることができる。なお、リード角とは、管の内面に形成された溝と管軸とのなす角のうち、小さい方の角度を指す。

【0015】一方、転造ボール又は転造ロールにより前記内面溝付伝熱管の管外面を押圧することにより管内面に圧痕の軌跡が形成されるが、この圧痕の軌跡は、管内面の展開図において管軸方向に直交する方向（管軸直交方向）に対し、前記溝と同じ方向に $0^{\circ}$ を超え $10^{\circ}$ 以下の角度で傾斜している。この圧痕により、蒸発時に圧痕の軌跡に沿う冷媒液の流れを生じさせることができる。これにより、蒸発時に管側部まで濡らすことができ、蒸発熱伝達率を向上させることができる。なお、凝縮時には冷媒液の温度が高いため、冷媒液の表面張力が蒸発時の約 $30\%$ 、粘度が約 $60\%$ に低下し、圧痕に沿う流れは存在し得ない。このため、凝縮時に管内面における濡れている領域の面積を増大させ凝縮熱伝達率を低下させることはない。また、本発明において、管側部とは管の内面における管頂部と管底部の中央部の近傍をいう。

【0016】また、前記内面溝付伝熱管の溝ピッチを $0.25\text{mm}$ 以上とすることにより、凝縮時に溝底に連続した液膜が形成されることを抑制できるため、凝縮時に冷媒液が溝に沿って上昇することを抑制し、凝縮時に管頂部付近を乾いた状態に維持することができる。

#### 【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例について、添付の図面を参照して具体的に説明する。図1(a)乃至(d)は、リード角と冷媒液の挙動との関係を示す模式図である。図1(a)及び(b)はリード角が大きい内面溝付伝熱管を示し、図1(a)は管内面の模式的展

開図であり、(b)は管軸方向に垂直な断面図である。一方、図1(c)及び(d)はリード角が小さい内面溝付伝熱管を示し、図1(c)は管内面の模式的展開図であり、(d)は管軸方向に垂直な断面図である。また、図2(a)乃至(c)はこの圧痕の軌跡に沿う流れを示す展開図であり、(a)は管の内面における圧痕の軌跡の位置を示し、(b)は圧痕の軌跡4が線10に対して溝3と逆の方向に傾いている場合を示し、(c)は圧痕の軌跡4が線10に対して溝3と同じ方向に傾いている場合を示す。

【0018】本発明に係る内面溝付伝熱管は、冷媒としてジフルオロメタン(R32)又はジフルオロメタンを含む混合冷媒、例えば、R410A及びR407C等の非共沸混合冷媒等を使用する熱交換器に使用されるものである。ジフルオロメタン(R32)は、従来の冷媒であるクロロジフルオロメタン(R22)と比較して蒸気密度が大きく、R22と同じ質量流量を管内に流しても、体積流量が小さいために圧力損失が小さくなるという特徴がある。また、R32の表面張力はR22に比べて、7乃至30%小さい。

【0019】本実施例の内面溝付伝熱管は、素材として溝が形成されていないシームレス銅管を用意し、この管の内側に溝付プラグを挿入し、この管の外面に転造ボールを押圧し、溝付プラグ及び転造ボールを回転させて管を転造することにより製造される。これにより、溝付プラグによって管の内面に螺旋状の溝が形成されると共に、管外面を転造ボールにより押圧することにより、管内面に転造ボールの圧痕の軌跡が現れる。通常、転造ボールの回転方向は溝付プラグの回転方向に対して逆方向であるため、圧痕の軌跡は管軸直交方向に対して溝と反対の方向に形成されるが、本実施例においては、転造ボールの回転方向を溝付プラグの回転方向と同じ方向、即ち順方向とすることにより、転造ボールの圧痕の軌跡は管軸直交方向に対して溝と同じ方向に形成される。この後、この管に縮径をかけ、内面溝付伝熱管1cが製造される。図2(a)に示すように、内面溝付伝熱管1cの管内面には、螺旋状の溝3及び転造ボールの圧痕の軌跡4が形成されている。螺旋状の溝3と管内面における管軸方向に平行な線5とのなす角は $25^{\circ}$ 以上であり、転造ボールの圧痕の軌跡4は管軸直交方向に対して溝3と同じ方向に $0^{\circ}$ を超え $10^{\circ}$ 以下の角度で傾斜している。

【0020】以下、本発明の各構成要件の数値限定理由について説明する。

【0021】リード角： $25^{\circ}$ 以上。

熱交換器に使用される内面溝付伝熱管においては、凝縮時には冷媒液で濡れていない乾いた面で冷媒ガスを凝縮させ、凝縮した冷媒液は速やかに排出されることが好ましい。図1(a)及び(b)に示すように、内面溝付伝熱管1aの内面に形成された溝3と管内面における管軸

方向に平行な線5とのなす角、即ち、リード角 $\theta$ が大きい場合は、冷媒液2が溝3に沿って上昇し難いため、管頂部8付近は乾いている。また、管頂部8付近で凝縮した冷媒液2は速やかに管頂部8から排出される。なお、内面溝付伝熱管1a及び1b内における冷媒液2により占められていない空間には冷媒ガス9が存在している。

【0022】図1(c)及び(d)に示すように、リード角 $\theta$ が小さい内面溝付伝熱管1bにおいては、冷媒液2は溝3に沿って流れ、管頂部8付近へ大量に冷媒液2が供給されるため、冷媒液膜の熱抵抗によりガス冷媒の凝縮が阻害される。

【0023】このように、単一冷媒及び混合冷媒のいずれの冷媒においても、高リード化、即ちリード角 $\theta$ を大きくすることにより凝縮熱伝達率が向上する。前述の如く、ジフルオロメタン(R32)は従来の冷媒であるクロロジフルオロメタン(R22)と比較して圧力損失が小さいため、ジフルオロメタン(R32)を使用する内面溝付伝熱管は、クロロジフルオロメタン(R22)を使用する内面溝付伝熱管と比較して、リード角を大きくして凝縮時の熱伝達率の向上させることができる。リード角が $25^\circ$ 以上であれば前記効果が顕著に認められるため、本発明においてはリード角を $25^\circ$ 以上とする。一方、高リード化による凝縮熱伝達率の向上は、管の単重増加を殆ど伴わないという利点もある。

【0024】図3は内面溝付伝熱管の表面温度分布を測定するための試験装置の構成を示す断面図である。図3に示す試験装置は、試験部11と試験部11の両側に設けられた配管部12とから構成されている。試験部11の長さは500mmであり、試験装置全体の長さは830mmである。試験部11は試験対象となる内面溝付伝熱管を使用して冷媒と水との間で熱交換を行うためのものであり、試験対象とする内面溝付伝熱管を供試管13とし、供試管13を他の管14の内部に挿入して2重管構造とし、更に、管14の周囲を断熱材15で覆っている。供試管13の試験部11に含まれる部分が供試部13aである。試験部11においては、供試部13aと管14との間の環状部に水を流し、供試管13内に冷媒を流して熱交換させる。供試部13aの長手方向中間位置には、直径0.2mmのシース熱電対16が供試管13の周方向に沿って8箇所均等に貼り付けられており、供試部13aの周方向の温度分布を測定することができる。配管部12は試験部11に冷媒及び水を供給するためのものであり、試験部11の両側に設けられている。各配管部12には、夫々水を出入させる水出入口17及び冷媒を出入させる冷媒出入口18が設けられている。また、冷媒は試験装置の外側に設けられたポンプ19により循環される。

【0025】また、図4は試験対象となる内面溝付伝熱管1dの形状、即ち、最小内径(Di)、底肉厚(tw)、フィンの高さ(Hf)、フィンの根元の円弧半径

(R)、先端の円弧半径(R0)、フィンの山頂角( $\alpha$ )及び溝底幅(Wg)を示す模式的断面図である。図4において、山頂角 $\alpha$ は、内面溝付伝熱管1dにおけるフィン6cの両側の側壁がなす角度を指す。

【0026】図5(a)乃至(d)は、夫々リード角 $\theta$ が $10^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $25^\circ$ 及び $30^\circ$ の内面溝付伝熱管における凝縮時の管周方向の表面温度分布を示すグラフ図である。この表面温度分布は図3に示した試験装置により測定される。試験条件は、供試部13aの入口における冷媒の乾き度が0.6、出口の乾き度は0.4、凝縮温度は供試部長手方向中間位置で約 $45^\circ\text{C}$ になるように制御する。冷媒の乾き度とは、液体の冷媒と蒸気の冷媒との合計量に対する蒸気の冷媒量の質量比である。試験対象となる内面溝付伝熱管は、外径(DO)が7.94mm、溝数(N)は70、底肉厚(tw)は0.26mmであり、これらの内面溝付伝熱管の内面形状は、圧痕の軌跡と管軸直交方向とのなす角( $\eta$ )が $+3^\circ$ 、溝ピッチ(Pg)は0.333mm、フィンの高さ(Hf)は0.15mm、フィンの根元の円弧半径(R)は0.05mm、フィンの先端の円弧半径(R0)は0.04mm、フィンの山頂角( $\alpha$ )は $20^\circ$ である。図5(a)乃至(d)において、各図の縦軸に沿って記載された数字は温度を示し、各図の外側に記載された1乃至8の数字は測定位置を示し、1は管頂部、3及び7は管側部、5は管底部を示す。なお、この記載方法は下記図6乃至9においても同様である。また、太い実線で描かれた八角形は各供試管の測定結果を示し、太い破線で描かれた八角形は温度が $45^\circ\text{C}$ の線、即ち、気液境界を示す。温度が $45^\circ\text{C}$ よりも高い箇所はその箇所の冷媒の状態が蒸気であることを、温度が $45^\circ\text{C}$ 以下の箇所は液であることを示している。

【0027】図5(a)及び(b)に示すように、リード角( $\theta$ )が $10^\circ$ 及び $20^\circ$ の内面溝付伝熱管においては管頂部まで液冷媒が到達している。一方、図5(c)及び(d)に示すように、リード角( $\theta$ )が $25^\circ$ 及び $30^\circ$ の内面溝付伝熱管においては管頂部には液冷媒が存在せず乾いており、凝縮性能が優れていることを示している。

【0028】管内面の展開図において転造ボール又は転造ロールにより前記内面溝付伝熱管の内面に形成される、圧痕の軌跡の方向：管軸直交方向に対して溝と同じ方向に $0^\circ$ を超え $10^\circ$ 以下の角度で傾斜している。前述の如く、内面溝付伝熱管の高リード化に伴い、冷媒液が溝に沿って管内を上昇することが抑制されるため、管の凝縮熱伝達率は向上するが、濡れ面積が減少するため蒸発熱伝達率は低下する。このため、本発明においては、転造ボール又は転造ロールの圧痕の軌跡と管軸とのなす角を規定することによりこの問題を解決する。内面溝付伝熱管は、その製造過程において、転造ボール又は転造ロールにより管の外面に圧痕の軌跡がつき、この軌

跡が管の内面にも現われる。本発明において規定する圧痕の軌跡とはこの管の内面に現われた圧痕の軌跡を指す。

【0029】管壁表面には僅かではあるが、前述の圧痕の軌跡に沿う流れが生じる。これは圧痕表面の凹凸を表面張力によって冷媒液が濡れ広がるために生じるものである。図2(a)に示すように、圧痕の軌跡4と管の内面における管軸方向と直交する線10とのなす角を角度 $\eta$ とする。また、溝3と管内面における管軸方向に平行な線5とのなす角のうち小さい角度がリード角 $\theta$ である。圧痕の軌跡4は線10に対して溝3と同じ方向に傾斜している。

【0030】図2(b)に示すように、圧痕の軌跡4が線10に対して溝3と逆の方向に傾いている場合又は圧痕の軌跡4が線10と平行である場合、即ち、角度 $\eta$ が $0^\circ$ 以下の場合、圧痕の軌跡4に沿って管頂部へ上昇しようとする冷媒液の流れは冷媒ガスの流れに対して順方向ではないため存在できない。また、冷媒の流れの方向が図2(b)に示す冷媒の流れの方向に対して逆の方向である場合においても、溝3に沿う冷媒の流れの方向と圧痕の軌跡4に沿う冷媒の流れの方向とのなす角度が鈍角になるため、圧痕の軌跡4に沿う冷媒の流れは生じない。

【0031】これに対し、図2(c)に示すように、圧痕の軌跡4が線10に対して溝3と同じ方向に傾いている場合、即ち、角度 $\eta$ が $0^\circ$ を超える場合は、圧痕の軌跡4に沿う冷媒液の流れは冷媒ガスの流れに対して順方向の流れとなり、且つ、溝3に沿う冷媒の流れの方向と圧痕の軌跡4に沿う冷媒の流れの方向とのなす角度が鋭角になるため、圧痕の軌跡4に沿う冷媒の管頂部へ向かう流れが存在でき、冷媒液が管側部まで濡れ広がることのでき、蒸発熱伝達率を向上させることができる。また、冷媒の流れの方向が図2(c)に示す冷媒の流れの方向に対して逆の方向である場合においては、圧痕の軌跡4に沿う冷媒の流れは一旦管底部に向かい、管底部を通過した後管頂部へ向かう流れとなる。

【0032】一方、製造上の限界から、 $\eta$ は $10^\circ$ 以下である必要がある。なお、凝縮時には冷媒液の温度が高いため、冷媒液の表面張力は蒸発時の約30%、粘度は約60%に低下し、圧痕の軌跡に沿う流れは発生しない。従って、この流れが凝縮熱伝達率を低下させることはない。

【0033】図6(a)乃至(d)は、夫々角度 $\eta$ が $-8^\circ$ 、 $-3^\circ$ 、 $+3^\circ$ 及び $+8^\circ$ の平滑管において、蒸発時の周方向表面温度分布を示すグラフ図である。平滑管とは、内面溝付伝熱管を製造する工程において、内面に溝付プラグを挿入しないで製作した管である。即ち、これらの平滑管の内外表面には転造ボールによる圧痕のみが形成されており、溝は形成されていない。このような平滑管について図3に示した試験装置を使用して周方

向の表面温度分布を測定する。試験条件は、供試部13aの入口における冷媒の乾き度は0.4、出口の乾き度は0.6、蒸発温度は供試部長手方向中央位置で $5^\circ\text{C}$ になるように制御する。試験対象となる内面溝付伝熱管は、外径(DO)が7.94mm、底肉厚(tw)は0.26mmである。図6(a)乃至(d)において、太い実線で描かれた八角形は各供試管の測定結果を示し、太い破線で描かれた八角形は温度が $5^\circ\text{C}$ の線、即ち、気液境界を示す。温度が $5^\circ\text{C}$ よりも高い箇所は、その箇所の冷媒の状態が蒸気であることを、温度が $5^\circ\text{C}$ 以下の箇所は液であることを示す。

【0034】図6(a)及び(b)に示すように、 $\eta$ が $-8^\circ$ 及び $-3^\circ$ の供試管においては、冷媒液は管底部にあり側面及び管頂部には行き渡っていない。一方、図6(c)及び(d)に示すように、 $\eta$ が $+3^\circ$ 及び $+8^\circ$ の供試管においては、管側面まで液冷媒が行き渡っていて、蒸発性能が優れている。

【0035】溝ピッチ: 0.25mm以上  
前述の如く、凝縮時の冷媒液の表面張力及び粘度は蒸発時よりも小さいため、リード角が $25^\circ$ 以上であれば、凝縮時に冷媒が管頂部まで濡れ広がることはない。しかしながら、溝ピッチを狭くし過ぎると、溝底に連続した液膜を形成し、冷媒液が管頂部付近まで到達し凝縮熱伝達率を低下させる。溝ピッチが0.25mm以上であれば前記問題が発生しないため、溝ピッチの下限を0.25mmとする。

【0036】図7(a)乃至(d)は、夫々溝ピッチ(Pg)が0.333mm、0.274mm、0.245mm及び0.222mmである内面溝付伝熱管において、凝縮時の管周方向の表面温度分布を示すグラフ図である。この温度分布は図3に示した試験装置を使用して測定される。試験条件は、供試部13aの入口における冷媒の乾き度が0.6、出口の乾き度が0.4、凝縮温度は供試部長手方向中間位置で $45^\circ\text{C}$ になるように制御される。試験対象となる内面溝付伝熱管は、外径(DO)が7.94mm、底肉厚(tw)は0.26mmであり、これらの内面溝付伝熱管の内面形状は、リード角( $\theta$ )が $30^\circ$ 、圧痕の軌跡と管軸直交方向とのなす角( $\eta$ )が $+3^\circ$ 、フィンの高さ(Hf)は0.15mm、フィンの根元の円弧半径(R)は0.05mm、フィンの先端の円弧半径(R0)は0.04mm、フィンの山頂角( $\alpha$ )は $20^\circ$ である。図7(a)乃至(d)において、太い実線で描かれた八角形は各供試管の測定結果を示し、太い破線で描かれた八角形は温度が $45^\circ\text{C}$ の線、即ち、気液境界を示す。温度が $45^\circ\text{C}$ よりも高い箇所は、その箇所の冷媒の状態が蒸気であることを、温度が $45^\circ\text{C}$ 以下の箇所は液であることを表している。

【0037】図7(a)及び(b)に示すように、溝ピッチ(Pg)が0.333mm及び0.274mmの内面溝付伝熱管においては、管頂部が乾いている。一方、

図7(c)及び(d)に示すように、溝ピッチ(Pg)が0.245mm及び0.222mmの内面溝付伝熱管においては、管頂部に液冷媒が達しているため凝縮性能が劣る。

【0038】フィンの高さ:0.10mm以上  
本発明の内面溝付伝熱管においては、凝縮熱伝達率は高リード化によって向上されるため、従来の内面溝付伝熱管よりもフィンの高さを低くすることができ、単重軽減が可能となる。しかし、蒸発時において、フィンの高さが0.10mm未満ではフィンが液膜に完全に埋もれてしまうため、冷媒液膜を濡れ広がせる効果が低下する。一方、フィンの高さを0.10mm以上にすれば、フィンが液膜に埋もれることを防止できるため、冷媒液膜を濡れ広がせることができ、蒸発熱伝達率がより向上する。従って、フィンの高さは0.10mm以上であることが好ましい。

【0039】図8(a)乃至(d)は、夫々フィンの高さが0.05mm、0.08mm、0.10mm及び0.15mmの内面溝付伝熱管において、蒸発時の管周方向表面温度分布を示すグラフ図である。図3に示した試験装置を使用して周方向の表面温度分布を測定する。試験条件は、供試部13aの入口における冷媒の乾き度は0.4、出口の乾き度は0.6、蒸発温度は供試部長手方向中間位置で5℃になるように制御する。試験対象となる内面溝付伝熱管は、外径(D0)が7.94mm、溝数(N)は70、底肉厚(tw)は0.26mmであり、これらの内面溝付伝熱管の内面形状は、リード角( $\theta$ )が30°、圧痕の軌跡と管軸直交方向とのなす角( $\eta$ )が+3°、溝ピッチ(Pg)は0.333mm、フィンの根元の円弧半径(R)は0.05mm、フィンの先端の円弧半径(R0)は0.04mm、フィンの山頂角( $\alpha$ )は20°である。図8(a)乃至(d)において、太い実線で描かれた八角形は各供試管の測定結果を示し、太い破線で描かれた八角形は温度が5℃の線、即ち、気液境界を示す。温度が5℃よりも高い箇所は、その箇所の冷媒の状態が蒸気であることを、温度が5℃以下の箇所は液であることを示している。

【0040】図8(a)及び(b)に示すように、フィンの高さ(Hf)が0.05mm及び0.08mmの内面溝付伝熱管においては、冷媒液の位置は管側部に留まっており、圧痕の軌跡による効果以上の効果は得られていない。一方、図8(c)及び(d)に示すように、フィンの高さが0.10mm及び0.15mmの内面溝付伝熱管においては、冷媒液が管頂部まで行き渡っており、蒸発性能がより向上していることがわかる。

【0041】溝ピッチ:0.40mm以下  
ジフルオロメタン(R32)は従来の冷媒であるクロロジフルオロメタン(R22)と比較して表面張力が小さいため、溝部の液膜が広がり難く、蒸発熱伝達率を低下させる原因となる。このため、溝ピッチを狭めて溝底に

連続した液膜を形成させることにより、冷媒液を濡れ広がらせることが好ましい。溝ピッチを0.40mm以下にすると蒸発熱伝達率を向上させる効果が顕著に認められるため、溝ピッチは0.40mm以下とすることが好ましい。

【0042】図9(a)乃至(d)は、夫々溝ピッチ(Pg)が0.466mm、0.424mm、0.389mm及び0.333mmである内面溝付伝熱管において、蒸発時の管周方向表面温度分布を示すグラフ図である。図3に示した試験装置を使用して周方向の表面温度分布を測定する。試験条件は、供試部の入口における冷媒の乾き度は0.4、出口の乾き度は0.6、蒸発温度は供試部長手方向中間位置で5℃になるように制御する。試験対象となる内面溝付伝熱管は、外径(D0)が7.94mm、底肉厚(tw)は0.26mmであり、これらの内面溝付伝熱管の内面形状は、リード角( $\theta$ )が30°、圧痕の軌跡と管軸直交方向とのなす角( $\eta$ )が+3°、フィンの高さ(Hf)は0.15mm、フィンの根元の円弧半径(R)は0.05mm、フィンの先端の円弧半径(R0)は0.04mm、フィンの山頂角( $\alpha$ )は20°である。図9(a)乃至(d)において、太い実線で描かれた八角形は各供試管の測定結果を示し、太い破線で描かれた八角形は温度が5℃の線、即ち、気液境界を示す。温度が5℃よりも高い箇所は、その箇所の冷媒の状態が蒸気であることを、温度が5℃以下の箇所は液であることを示している。

【0043】図9(a)及び(b)に示すように、溝ピッチ(Pg)が0.466mm及び0.424mmの管においては、冷媒液が管頂部まで行き渡っていない。一方、図9(c)及び(d)に示すように、溝ピッチ(Pg)が0.389mm及び0.333mmの管においては、冷媒液が濡れ広がっているため、蒸発性能が優れている。

【0044】フィン根元の円弧半径とフィン高さの比:0.15乃至0.45

フィンの根元を曲面状に加工することにより、フィンの根元部分における液膜を薄くすることができる。その結果、液膜の熱抵抗が減少し、蒸発熱伝達率を向上させることができる。図10(a)及び(b)はフィンの根元の形状と液膜の厚さとの関係を示す模式的断面図である。図10(a)に示すように、フィン6aの根元7aが曲面状に加工されていない場合は、根元7aの近傍では冷媒液2の液膜が厚くなる。一方、図10(b)に示すように、フィン6bの根元7bに適当な円弧半径を持つ曲面が設けられている場合は、曲面が設けられていない場合と比較して冷媒液2の液膜が薄くなる。フィンの根元の円弧半径をRとし、フィンの高さをHfとすると、 $R/Hf$ の値が0.15乃至0.45であれば、フィンの根元における液膜が薄くなり、蒸発熱伝達率が向上する。

【0045】図11は、内面溝付伝熱管の蒸発熱伝達率及び凝縮熱伝達率を測定する試験装置の構成を示す模式図である。図11に示すように、この試験装置は試験部20及びバイパス部21が設けられている。試験部20は内面溝付伝熱管の蒸発熱伝達率及び凝縮熱伝達率を測定するものであり、バイパス部21は試験部20に供給する冷媒を所定の条件に調節するものである。試験部20とバイパス部21とは並列に連結されている。試験部20は2重管構造となっており内管22と外管23とが設けられている。内管22には供試管となる内面溝付伝熱管を使用し、外管23には平滑銅管を使用する。試験部20の両側にはヒーター24が設けられ、片方のヒーター24と試験部20の間には膨張弁25が連結されている。更に、試験部20には試験部20に水を供給するための水槽26が連結されている。一方、バイパス部21には、バイパス凝縮器27、膨張弁28、バイパス蒸発器29及びコンプレッサー30がこの順に環状に連結され、独立した冷凍サイクルを構成している。

【0046】図11に示す試験装置においては、コンプレッサー30が駆動することにより、バイパス凝縮器27、膨張弁28、バイパス蒸発器29及びコンプレッサー30からなる冷凍サイクルに冷媒を流し、冷媒を所定の条件に調節する。そして、この条件が調節された冷媒を試験部20の内管22内に流す。一方、水槽26より内管22と外管23との間の環状部に水を供給し、この水と前記冷媒との間で熱交換させて、水の出入口温度差から伝熱量を測定する。また、内管22の冷媒出入口の差圧も計測する。このとき、冷媒の圧力及び冷媒流量等

の条件が表1に示す値になるように、バイパス凝縮器27及びバイパス蒸発器29に流す水流量、膨張弁25及び28の開度並びにヒーター24の出力を調節する。

【0047】管内熱伝達率は、管内熱伝達率を $\alpha_i$ 、総括熱伝達率を $K_o$ 、管外熱伝達率を $\alpha_o$ 、管壁熱抵抗を $R$ 、供試管の内径を $D_i$ 、供試管の外径を $D_o$ とすると、下記数式1により表される。

【0048】

$$\text{【数1】 } \alpha_i = 1 / (1 / K_o - 1 / \alpha_o - R) / (D_i / D_o)$$

【0049】なお、管外熱伝達率 $\alpha_o$ はMonrad-Pelton式により求めることができる。また、総括熱伝達率 $K_o$ は、伝熱量を $Q$ 、管外表面積を $A_o$ 、冷媒と水との間の対数平均温度差を $\Delta T_m$ とすると、下記数式2により表される。

【0050】

$$\text{【数2】 } K_o = Q / (A_o \times \Delta T_m)$$

【0051】図12は、フィンの高さが0.15mm、0.20mm及び0.25mmの内面溝付伝熱管におけるフィンの根元の円弧半径 $R$ を変化させた場合の蒸発熱伝達率比を示す。測定は図11に示す試験装置により行った。表1はこのときの測定条件を示す。フィンの根元に $R$ が設けられていない内面溝付伝熱管、即ち、 $R=0$ の内面溝付伝熱管と比較して、 $R/H_f$ が0.15乃至0.45の範囲にある内面溝付伝熱管は、蒸発熱伝達率が5乃至8%高い値を示す。

【0052】

【表1】

蒸発試験		凝縮試験	
冷媒	R410A	冷媒	R410A
蒸発温度 (°C)	7.5	凝縮温度 (°C)	45
入口乾き度	0.2	入口温度 (°C)	70
出口過熱度 (°C)	5	出口過冷却度 (°C)	5
供試材のサイズ (外径、長さ)	7.00mm、3.0m	供試材のサイズ (外径、長さ)	7.00mm、3.0m
	7.94mm、3.5m		7.94mm、3.5m
	9.52mm、4.0m		9.52mm、4.0m

【0053】なお、前記内面溝付伝熱管に関して、更に熱伝熱性能の向上及び軽量化を図るために、フィンの山頂角 ( $\alpha$ ) は25°以下、フィン先端の円弧半径 ( $R_o$ ) は0.05mm以下であることが望ましい。

【0054】また、ジフルオロメタンは作動時の圧力が従来の冷媒に比べて高いため、内面溝付伝熱管の底肉厚は、底肉厚を $t_w$ 、管の外径を $D_o$ とすると、下記数式3の関係を満たすものが望ましい。

【0055】

$$\text{【数3】 } D_o / t_w \leq 31.7$$

【0056】

【実施例】以下、本発明の実施例に係る内面溝付伝熱管について、本発明の範囲から外れる比較例と比較して具体的に説明する。表2は本発明の実施例及び比較例における内面溝付伝熱管の内面形状を示す。

【0057】

【表2】



	No.	外径 DO (mm)	溝数 N	底肉厚 lw (mm)	リード角 $\theta$ (°)	角度 $\eta$ (°)	溝ピッチ Pg (mm)	フィン 高さHf (mm)	フィン 根元R (mm)	比率 R/Hf	山頂角 $\alpha$ (°)	溝底幅 Wg (mm)	単位長さ 当たりの質量 (g/m)
実施例	1	7.00	65	0.25	30	3	0.31	0.15	0.05	0.33	20	0.20	55
	2	7.94	70	0.26	35	3	0.33	0.15	0.05	0.33	20	0.22	65
	3	9.52	75	0.30	35	3	0.37	0.18	0.07	0.39	20	0.24	90
比較例	4	7.00	60	0.25	18	-3	0.41	0.20	0.05	0.25	20	0.28	56
	5	7.94	50	0.26	18	-3	0.47	0.20	0.05	0.25	20	0.34	65
	6	9.52	60	0.30	18	-3	0.47	0.20	0.07	0.35	20	0.33	90

【0058】表2に示す内面溝付伝熱管は、いずれもJISH3300に記載されている合金番号C1220の銅合金からなっている。表2において、溝数とは管の管軸方向と直角をなす断面を横切る溝の数を指す。底肉厚とは、図4に示すように、溝の底部における管の厚さを指す。角度 $\eta$ とは、管内面の展開図において転造ボール又は転造ロールにより前記内面溝付伝熱管の内面に形成される圧痕の軌跡と、管軸直交方向とのなす角をいい、前記溝と同じ方向である場合を正とする。また、溝ピッチとは管の円周方向における溝の間隔を指し、溝ピッチをPg、管の最小内径をDi、円周率を $\pi$ 、溝数をNとすると下記数式4により求められる。

【0059】

$$【数4】Pg = Di \times \pi / N$$

【0060】表2におけるNo. 1乃至3は本発明の実施例である。実施例No. 1乃至3は、いずれもリード角及び角度 $\eta$ が本発明の範囲内にある。また、フィンの高さ、溝ピッチ及びフィン根元の円弧半径Rとフィン高さHfとの比も本発明の好適範囲内にある。一方、No. 4乃至6は比較例である。比較例No. 4乃至6は、リード角及び角度 $\eta$ が本発明の範囲から外れている。

【0061】表2に示す内面溝付伝熱管について、図11に示す試験装置を使用して蒸発熱伝達率及び凝縮熱伝達率を評価した。評価方法は、管径が同じ実施例及び比較例について冷媒質量速度を変化させて蒸発時及び凝縮時における管内熱伝達率を測定し、その結果を比較した。冷媒質量速度以外の試験条件は表1に示す条件とした。試験結果を図13(a)及び(b)、図14(a)及び(b)並びに図15(a)及び(b)に示す。

【0062】図13(a)及び(b)は、外径が7.00mmの管を使用している実施例No. 1及び比較例No. 4の試験結果を示し、(a)は蒸発時の管内熱伝達率、(b)は凝縮時の管内熱伝達率を示す。図13(a)及び(b)に示すように、蒸発時及び凝縮時のいずれの場合においても、実施例No. 1の管内熱伝達率は比較例No. 4の管内熱伝達率よりも大きかった。

【0063】図14(a)及び(b)は、外径が7.94mmの管を使用している実施例No. 2及び比較例No. 5の試験結果を示し、(a)は蒸発時、(b)は凝縮時の管内熱伝達率を示す。図14(a)及び(b)に

示すように、蒸発時及び凝縮時のいずれの場合においても、実施例No. 2の管内熱伝達率は比較例No. 5の管内熱伝達率よりも大きかった。

【0064】図15(a)及び(b)は実施例No. 3及び比較例No. 6の試験結果を示す。これらの管の外径は共に9.52mmである。図15(a)は蒸発時の管内熱伝達率、図15(b)は凝縮時の管内熱伝達率を夫々示す。蒸発時及び凝縮時のいずれの場合においても、実施例No. 3の管内熱伝達率は比較例No. 6の管内熱伝達率よりも大きかった。

【0065】このように、実施例No. 1乃至3の内面溝付伝熱管は、夫々比較例No. 4乃至6の内面溝付伝熱管よりも凝縮熱伝達率及び蒸発熱伝達率が優れていたが、表2に示すように単位長さ当たりの質量は同等である。凝縮熱伝達率及び蒸発熱伝達率が同等になるように溝形状を設計すれば、実施例No. 1乃至3の内面溝付伝熱管はフィンの高さを夫々比較例No. 4乃至6の内面溝付伝熱管よりも低くすることができ、より軽量化することができる。

【0066】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、ジフルオロメタン又はジフルオロメタンを含む混合冷媒に好適な内面溝付伝熱管であって、凝縮熱伝達率と蒸発熱伝達率が共に優れ、且つ軽量な内面溝付伝熱管を得ることができる。また、この内面溝付伝熱管を使用して熱交換器を構成することにより、塩素を含まない冷媒を使用する消費電力が少ない冷凍機器及び空調機器を製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)乃至(d)はリード角と冷媒液の挙動との関係を示す図であり、(a)はリード角が大きい内面溝付伝熱管の模式的展開図、(b)はこの内面溝付伝熱管の断面図、(c)はリード角が小さい内面溝付伝熱管の模式的展開図、(d)はこの内面溝付伝熱管の断面図を示す。

【図2】(a)乃至(c)は圧痕の軌跡に沿う流れを示す展開図であり、(a)は管の内面における圧痕の軌跡の位置を示し、(b)は圧痕の軌跡4が線10に対して溝3と逆の方向に傾いている場合を示し、(c)は圧痕の軌跡4が線10に対して溝3と同じ方向に傾いている場合を示す。

【図3】内面溝付伝熱管の性能評価を行うための試験装置の構成を示す断面図である。

【図4】内面溝付伝熱管の形状を示す模式的断面図である。

【図5】(a)乃至(d)は、リード角が異なる内面溝付伝熱管における凝縮時の管周方向の表面温度分布を示すグラフ図である。

【図6】(a)乃至(d)は、異なる $\lambda$ の値を持つ平滑管における蒸発時の周方向表面温度分布を示すグラフ図である。

【図7】(a)乃至(d)は、異なる溝ピッチを持つ内面溝付伝熱管における凝縮時の管周方向の表面温度分布を示すグラフ図である。

【図8】(a)乃至(d)は、異なるフィンの高さを持つ内面溝付伝熱管の蒸発時における管周方向表面温度分布を示すグラフ図である。

【図9】(a)乃至(d)は、異なる溝ピッチを持つ内面溝付伝熱管における蒸発時の管周方向表面温度分布を示すグラフ図である。

【図10】(a)及び(b)はフィンの根元の形状と液膜の厚さとの関係を示す模式図であり、(a)はフィンの根元が曲面状に加工されていない場合、(b)はフィンの根元が曲面上に加工されている場合を示す。

【図11】内面溝付伝熱管の蒸発熱伝達率及び凝縮熱伝達率を測定する試験装置の構成を示す模式図である。

【図12】フィンの根元の円弧半径とフィン高さとの比と蒸発熱伝達率比との関係を示すグラフ図である。

【図13】(a)及び(b)は、本発明の実施例No. 1及び比較例No. 4の試験結果を示すグラフ図であり、(a)は蒸発時の管内熱伝達率、(b)は凝縮時の管内熱伝達率を示す。

【図14】(a)及び(b)は、本発明の実施例No. 2及び比較例No. 5の試験結果を示すグラフ図であり、(a)は蒸発時の管内熱伝達率、(b)は凝縮時の管内熱伝達率を示す。

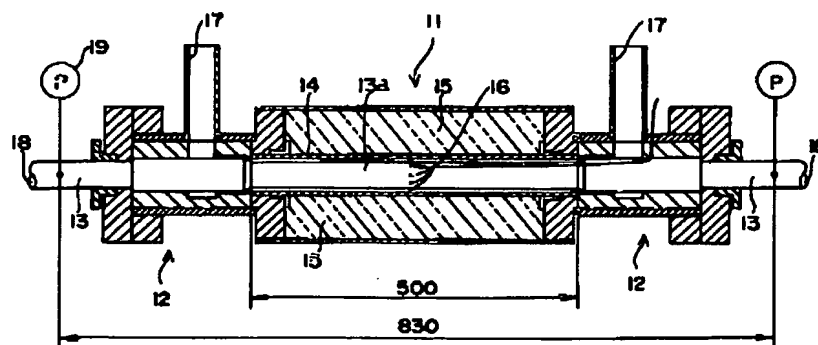
【図15】(a)及び(b)は、本発明の実施例No.

3及び比較例No. 6の試験結果を示すグラフ図であり、(a)は蒸発時の管内熱伝達率、(b)は凝縮時の管内熱伝達率を示す。

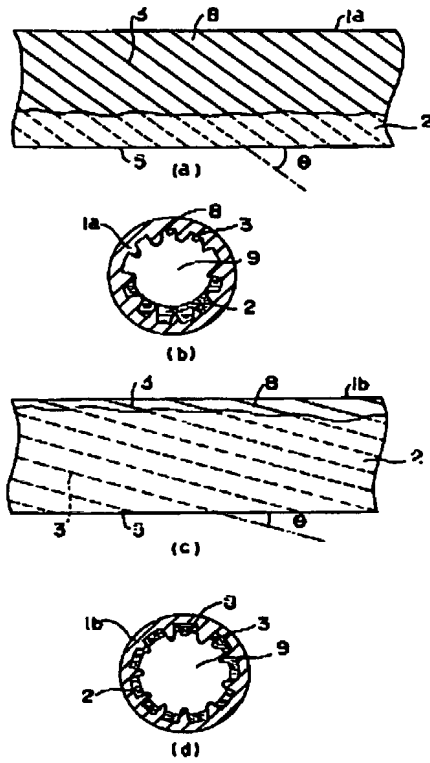
【符号の説明】

- 1 a乃至1 d ; 内面溝付伝熱管
- 2 ; 冷媒液
- 3 ; 溝
- 4 ; 圧痕の軌跡
- 5 ; 管内面における管軸方向に平行な線
- 6 a乃至6 c ; フィン
- 7 a、7 b ; フィンの根元
- 8 ; 管頂部
- 9 ; 冷媒ガス
- 10 ; 管内面における管軸方向と直交する線
- 11 ; 試験部
- 12 ; 配管部
- 13 ; 供試管
- 13 a ; 供試管13の供試部
- 14 ; 管
- 15 ; 断熱材
- 16 ; 熱電対
- 17 ; 水出入口
- 18 ; 冷媒出入口
- 19 ; ポンプ
- 20 ; 試験部
- 21 ; バイパス部
- 22 ; 内管
- 23 ; 外管
- 24 ; ヒーター
- 25 ; 膨張弁
- 26 ; 水槽
- 27 ; バイパス凝縮器
- 28 ; 膨張弁
- 29 ; バイパス蒸発器
- 30 ; コンプレッサー

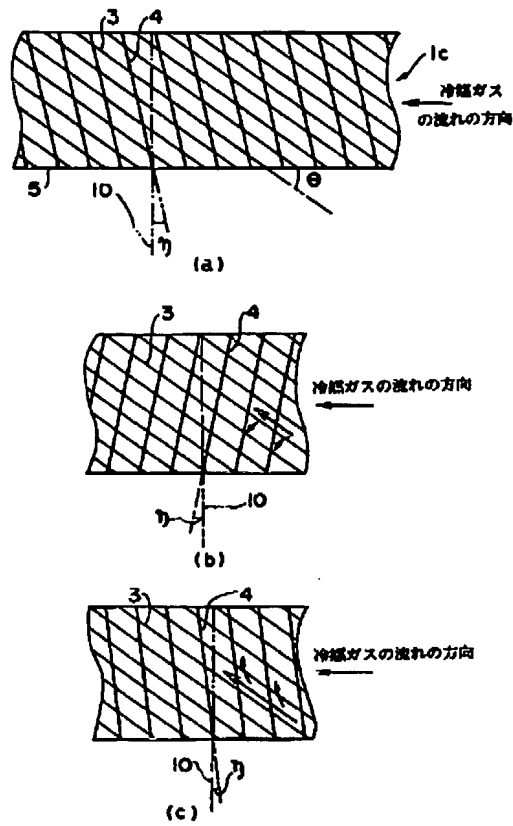
【図3】



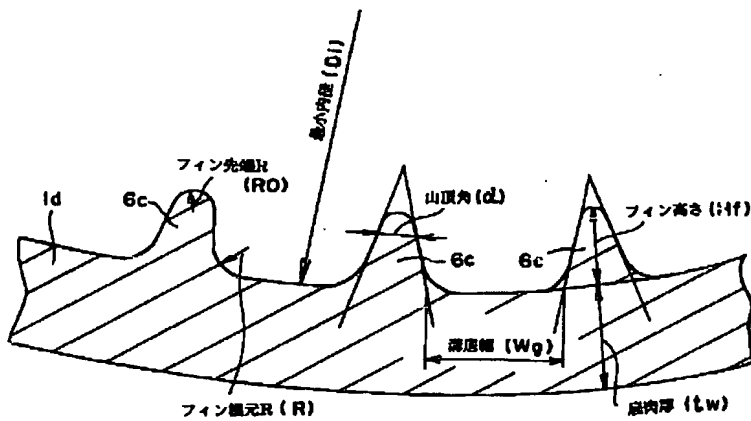
【図1】



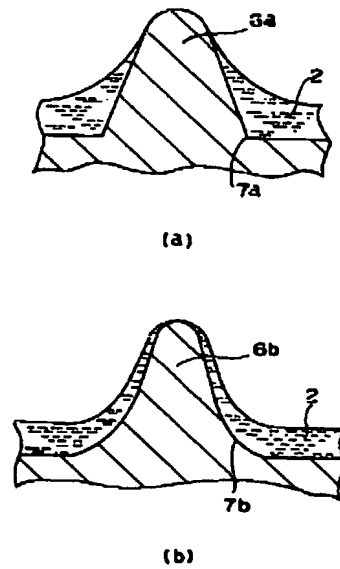
【図2】



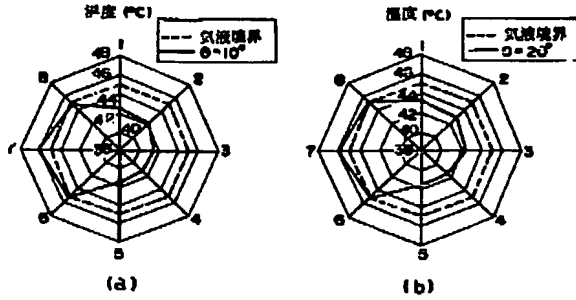
【図4】



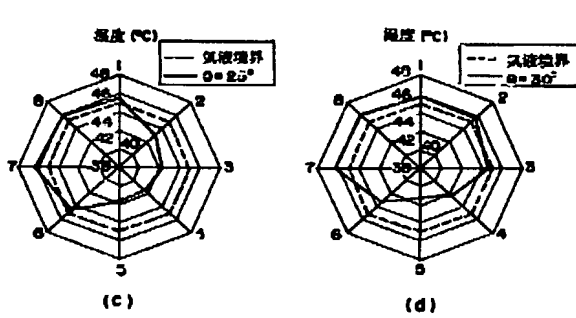
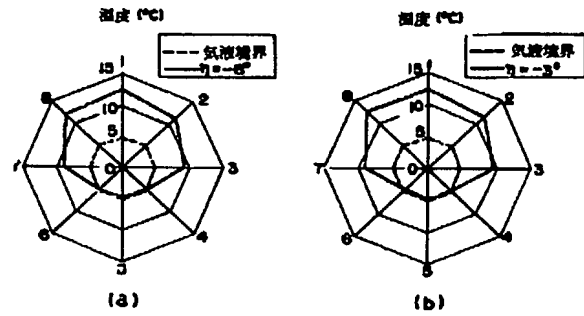
【図10】



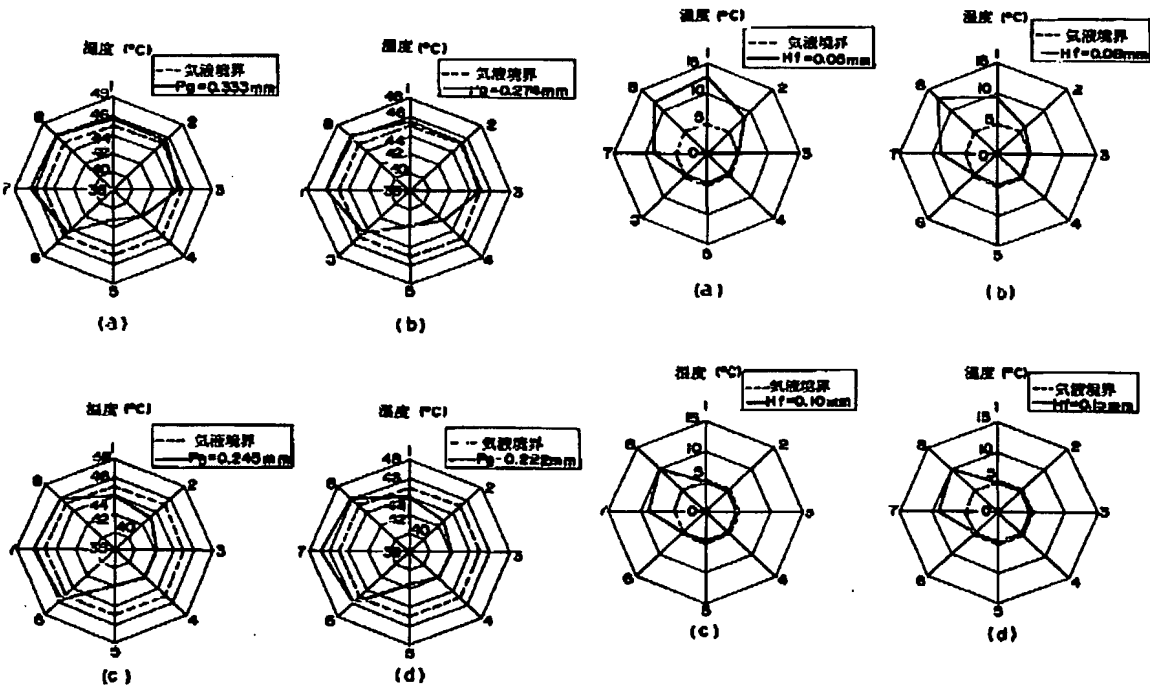
【圖5】



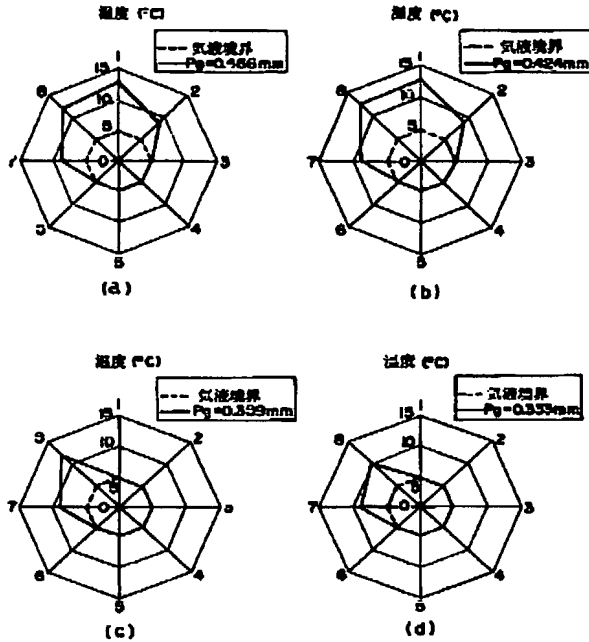
【圖6】



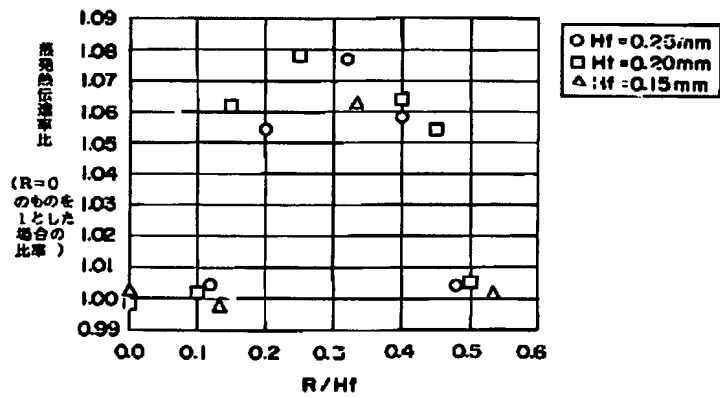
【圖8】



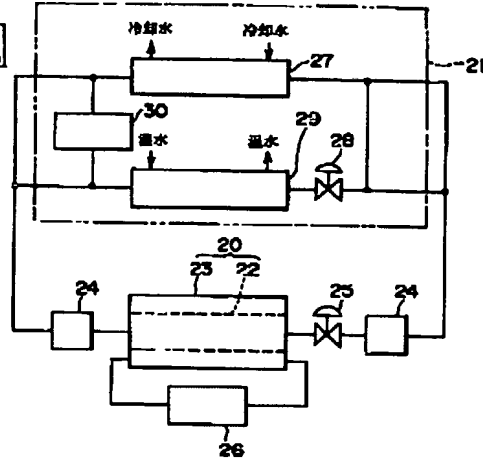
【図9】



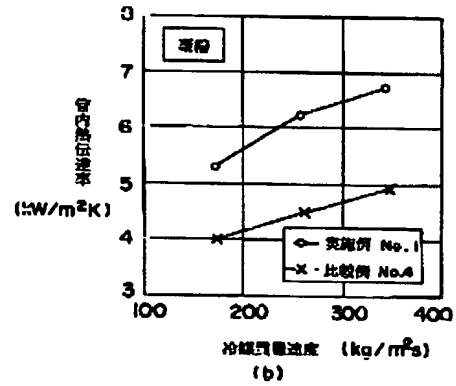
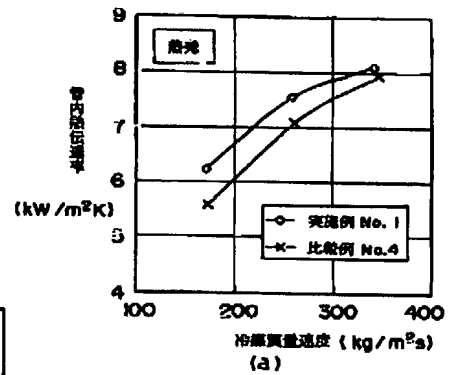
【図12】



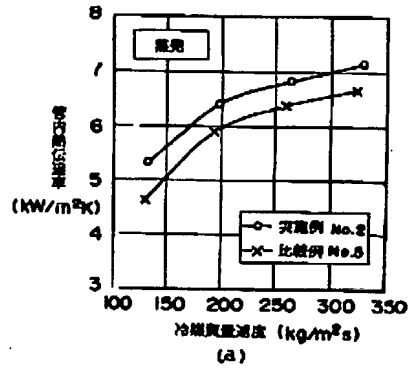
【図11】



【図13】



【圖14】



【圖15】

